



L'Institut
français
de recherche
scientifique
pour le
développement
en coopération

Centre de Montpellier
911, avenue Agropolis
B.P. 5045
34032 Montpellier Cedex 1
Tél. 04 67 41 61 00
Fax 04 67 54 78 00
Télex ORST MPL 485 507 F

CLIMATOLOGIE ET AGROCLIMATOLOGIE DE LA PROVINCE EXTREME NORD (P.E.N.) DU CAMEROUN

PREPARATION DE L'ATLAS DE LA P.E.N.
EDITEUR SCIENTIFIQUE : CHRISTIAN SEIGNOBOS

Par
YANN L'HOTE,
Ingénieur de Recherche

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote : **A*14730** Ex : **1**
Laboratoire d'Hydrologie
juillet 1998

Fonds Documentaire ORSTOM



010014730

73410

Siège social : 213, rue La Fayette - 75480 Paris Cedex 10
Tél. 01 48 03 77 77 - Télex ORSTOM 214 627 F - Fax 01 48 03 08 29

CLIMATOLOGIE ET AGROCLIMATOLOGIE
DE LA
PROVINCE EXTREME NORD (P.E.N.) DU CAMEROUN

PREPARATION DE L'ATLAS DE LA P.E.N.
EDITEUR SCIENTIFIQUE : CHRISTIAN SEIGNOBOS

Par
YANN L'HOTE,
Ingénieur de Recherche

Laboratoire d'Hydrologie
juillet 1998

Dans le but de disposer d'un document séparé et plus maniable par le format que l'Atlas de la P.E.N. pour lequel ils ont été écrits, nous présentons ci-dessous les illustrations et le texte proposés pour la réalisation de celui-là.

Dans la présente publication, nous avons établi un sommaire du texte qui n'existe pas dans l'Atlas.

Les figures 1 à 4 du texte sont celles qui ont été proposées à l'Editeur scientifique.

Par contre la carte 1 des isohyètes, les neuf cartons de la page d'illustrations de l'Atlas et la figure 5 du texte sont des photocopies dans des versions très proches des définitives des travaux du Laboratoire de Cartographie Appliquée de l'Orstom à Bondy (MM. M. Danard et E. Opigez) d'une part, et du Secrétariat des Editions de l'Orstom à Montpellier (M. P. Lopez) d'autre part.

SOMMAIRE

(N.B. Ce sommaire est fourni pour permettre la lecture du texte ; il ne figurera pas dans l'Atlas)

LA PROVINCE DANS L'ENSEMBLE METEOROLOGIQUE AFRICAIN.....	4
LE RESEAU DE MESURES, ORIGINE DES DONNEES	5
LES PRECIPITATIONS.....	6
Homogénéisation des données	6
Variations géographiques des précipitations annuelles.....	7
Variations dans le temps des précipitations annuelles : la sécheresse au Sahel au cours des décennies 1970 et 1980, le « retour à la normale » depuis 1991	7
Variations saisonnières : précipitations mensuelles.....	9
Précipitations journalières	10
LES AUTRES ELEMENTS DU CLIMAT	10
Vents au sol.....	10
Température de l'air.....	11
Humidité de l'air	12
Insolation	12
AGROCLIMATOLOGIE	13
Evapotranspiration potentielle (ETP).....	13
Bilan hydrique des cultures	14
Indice de rendement agricole espéré - IRESP.....	15
Dates optimales de semis.....	17
Conclusion sur l'agroclimatologie.....	18
REMERCIEMENTS.....	18
BIBLIOGRAPHIE.....	19

La bande orientée Nord-Sud que forme grossièrement sur une carte la Province Extrême Nord (PEN), permet un échantillonnage climatique complet d'une bordure sud du **Sahel**, dont le nom vient de l'arabe *sahil*, celui-ci pouvant être traduit par *rivage* [du désert].

Il s'agit en effet d'une zone de transition entre les régions désertiques au Nord et celles où règne un climat soudanien de plus en plus humide vers le Sud. Bien qu'il y ait plusieurs définitions du mot Sahel, on considère couramment que celui-ci est compris entre les courbes isohyètes (d'égale précipitation) 300 et 700 millimètres annuels.

La totalité de la Province est soumise à un **climat tropical** au sens large, dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- une seule saison des pluies centrée sur un maximum au mois d'août, avec des totaux moyens annuels variant (ici) de 400 à 1100 millimètres ;
- une saison sèche d'autant plus rigoureuse et longue (sept mois et plus) que l'on se dirige vers le Nord et que l'on s'éloigne des monts Mandara ;
- une insolation importante et des températures fortes, et souvent très fortes en se rapprochant des rives du Lac Tchad.

LA PROVINCE DANS L'ENSEMBLE METEOROLOGIQUE AFRICAIN

Les variations des différents éléments du climat décrits ci-dessous (précipitations, vents, températures, humidité de l'air, insolation ...) sont les conséquences de ce que l'on nomme la « circulation générale », dans laquelle on décrit les mouvements de l'air à l'intérieur de l'atmosphère terrestre. Cette circulation dépend elle-même de l'apport d'énergie solaire sur la surface du globe, qui est bien plus important dans la zone intertropicale (de 23° 27' nord à sud) où se trouve la PEN que dans les zones tempérées et les zones polaires.

A l'intérieur de la zone intertropicale, l'apport énergétique est maximum là où se trouve le soleil au zénith, c'est à dire au tropique du Cancer les 21 juin, au tropique du Capricorne les 22 décembre et à l'équateur les 21 mars et 23 septembre. D'autre part, du fait de leurs propriétés d'absorption différentes, les parties intertropicales des continents se trouvent être surchauffées par rapport aux océans voisins. De ces conditions thermiques, il résulte (Cf. cartons 1 et 2) :

- au voisinage de l'équateur, l'existence d'une ceinture quasi planétaire de basses pressions, nommée Equateur météorologique (EM) ou Zone de convergence intertropicale (ZCIT). L'équateur météorologique est marqué par une bande nuageuse bien visible sur les images satellitaires. Elle résulte d'un processus de condensation provoqué par la rencontre (convergence) des vents alizés secs de nord-est et humides de sud-ouest, avec ascendance de l'air chaud et humide et formation de nuages pluviogènes, en particulier de gros cumulonimbus à sommets froids.
- Deux zones de hautes pressions relatives, au sud et au nord de l'équateur météorologique. Ces hautes pressions, plus marquées sur les Océans par 30° de latitude moyenne, forment les Anticyclones des Açores au nord-ouest et de Sainte Hélène au sud-ouest du continent africain.

L'équateur météorologique se déplace en latitude suivant les saisons, tandis que les zones anticyclonales se renforcent ou s'affaiblissent tour à tour. Ainsi le long du méridien de Maroua (14°15' Est), on a la succession suivante au cours de l'année :

En janvier (carton 1a), la trace au sol de l'équateur météorologique est située en moyenne par 4° de latitude nord. La PEN est entièrement sous la dépendance des alizés continentaux d'est, ou harmattan, induits par la prolongation saharienne de l'Anticyclone des Açores. La masse d'air

tropicale continentale (saharienne) mise en oeuvre est stable, chaude et sèche. On est au coeur de la saison sèche.

L'équateur météorologique progresse vers le Nord de janvier au mois d'août ; sa trace au sol touche la ville de Maroua en moyenne en avril et le 16ème parallèle nord en juin.

En août (cartons 1b et 2), l'équateur météorologique est en moyenne à 18° 30' de latitude nord. La PEN est entièrement située sous l'emprise des masses d'air provenant de l'Anticyclone de Sainte Hélène, et en particulier la mousson instable et humide. C'est la pleine saison des pluies.

A partir d'août, l'équateur météorologique redescend vers le Sud et atteint de nouveau Maroua en moyenne début octobre.

Le carton 2 est une coupe schématique nord-sud dans l'atmosphère passant par Maroua aux conditions moyennes d'août. Il y est figuré l'affrontement des masses d'air continentales sèches du Nord (à gauche) et maritimes du Sud, l'affrontement se faisant suivant un plan dénommé Front intertropical (FIT), composante majeure de l'équateur météorologique.

Bien qu'il y ait une variation quotidienne non négligeable de la position du FIT, la distance par rapport à sa trace au sol permet de déterminer différentes « zones de temps » se succédant du Nord au Sud et ayant des caractéristiques climatiques distinctes (humidité, température, types de pluies ...). Ces zones de temps différentes notées 1 et 2A à 2D sont figurées sur le carton 2 avec les caractères climatiques synoptiques correspondants.

Enfin, bien que la pente du FIT varie selon la saison (pente double en hiver par rapport à l'été), donc bien que les largeurs des zones de temps soient variables selon la saison, nous avons représenté sur la dernière ligne du tableau la situation approximative moyenne de Maroua chacun des mois de l'année, par rapport au schéma atmosphérique général.

Pour le site de Maroua, mais aussi ses voisins avec un léger décalage, cette ligne du tableau permet en remontant dans celui-ci d'avoir pour chaque mois, une description synoptique de tous les événements climatiques : saison, types de pluies, température ... On voit en particulier que la PEN n'est touchée que sporadiquement par la zone de temps 2C caractérisée par des pluies prolongées de mousson, alors que les pluies orageuses et les lignes de grains sont la règle pendant la saison des pluies, de juin à septembre.

Les lignes de grains, que l'on peut suivre aujourd'hui sur les images satellitaires et radar, sont des grandes perturbations d'été boréal, de forme circulaire (500 à 1000 km de diamètre) se déplaçant d'Est en Ouest entre 7° et 17° nord à travers tout le sous continent ouest et centrafricain. La vitesse du déplacement la plus fréquente est de l'ordre de 50 km/h, et la périodicité de retour a été estimée en moyenne à six jours. Les observateurs ont noté l'existence de certaines zones préférentielles de genèse des lignes de grains, en particulier la région du Lac Tchad nous intéressant ici, et de déclin sur l'Atlantique Est (Lopez, 1993).

Enfin il a été montré que la majeure partie du total pluviométrique annuel de la zone intéressée a pour origine les lignes de grains plutôt que les pluies de mousson.

LE RESEAU DE MESURES, ORIGINE DES DONNEES

- Pour effectuer l'étude des précipitations et des autres facteurs du climat, nous avons exploité des données recueillies et archivées par la Direction de la Météorologie Nationale du Cameroun et par les Directions Météorologiques des Etats voisins : Tchad, Nigéria et Niger. Ces données sont relatives aux stations suivantes :

- Principalement la station synoptique de l'aéroport de Maroua - Salak, installée en 1953. Rappelons qu'à une station synoptique, prise en compte à l'échelle internationale par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), les observations de toute nature au sol (précipitations, pression, températures, insolation, humidité ...) et en altitude (sondages), sont effectuées par des professionnels de la météorologie, ce qui en assure la fiabilité.
Nous avons aussi pris largement en compte les données de la station synoptique de N'Djaména au Tchad, située face à Kousséri par rapport au fleuve Chari.
- Deux stations climatologiques, où sont effectuées des observations complémentaires à celles des pluies, et au moins de température. Il s'agit, avec des périodes plus ou moins longues, de Mokolo et Kaélé.
- Un total de 96 stations ont été prises en compte pour avoir une vue d'ensemble du tracé des isohyètes, tant au Cameroun qu'au Tchad, au Niger et au Nigéria, entre 8° 20' - 13° 30' Nord et 11° 50' - 16° 45' Est.
Parmi celles-ci 53 stations pluviométriques sont situées sur la carte des précipitations annuelles ; un pluviomètre y est relevé par un observateur recruté sur place. Les durées d'observation de ces stations sont très diverses.

L'étude des précipitations a été effectuée avec un fichier le plus exhaustif possible mis à jour jusqu'en 1995 compris. Ainsi nous avons retenu plus particulièrement :

- les valeurs à 28 stations déjà analysées et publiées par A. Beauvilain (1995), dont 15 au Cameroun, 12 au Tchad et Maiduguri au Nigéria.
- les données publiées aux autres stations par le CIEH *et al.* (1973 à 1990), complétées pour la période 1981 à 1995 auprès des Directions de la Météorologie des Etats.
- Les descriptions et études des autres caractéristiques du climat (température, insolation ...), plus rapidement stables avec seulement 10 à 15 années de relevés, sont des extraits d'études antérieures. En effet, nous ne disposons pas toujours de données de base en nombre suffisant, qui plus est simultanément, aux stations retenues pour cette étude.
- Pour l'agroclimatologie, nous avons exploité les résultats de l'Atlas agroclimatique des Pays de la zone du CILSS (1992) qui comprend diverses études statistiques aux stations des Etats du Sahel, parmi lesquelles la station synoptique de N'Djaména au Tchad. La station synoptique de Maroua-Salak a été prise en compte sur les cartes, cependant les tableaux statistiques n'ayant pas été publiés, il nous a fallu d'une part demander des sorties spéciales à Agrhymet (pluviométrie décadaire) et d'autre part estimer les valeurs d'ETP à partir des cartes.

LES PRECIPITATIONS

Homogénéisation des données

Les totaux annuels pris en compte (1944-1995) ont été homogénéisés par la méthode dite du vecteur régional - MVR 1.5 (Cochonneau *et al.*, 1992). Ce travail est effectué sur des régions ayant des caractéristiques pluviométriques homogènes qui se sont révélées être au nombre de trois sur la

PEN : « extrême nord » (de la Province Extrême Nord), Diamaré et monts Mandara. Il est à remarquer que ce découpage est en très bon accord avec celui en sous régions climatiques définies par J.B. Suchel (1988), représenté sur le carton 3 avec les stations d'observations représentatives de chacune.

L'homogénéisation des données pluviométriques a deux buts : le premier est de repérer les valeurs notoirement fausses et les corriger ou les écarter. Le second but est de calculer des moyennes sur une période identique la plus longue possible (ici 1944-1995) à partir des moyennes partielles obtenues avec des nombres d'années diverses.

Variations géographiques des précipitations annuelles

La carte 1 des précipitations moyennes annuelles a été établie sur la période de 52 années 1944-1995, période qui peut être scindée en deux séries successives d'égale durée, mais de caractéristiques d'ensemble différentes : 1944-1969 où la pluviométrie a souvent été excédentaire et 1970-1995 comprenant d'assez nombreuses années déficitaires.

Cette carte met bien en évidence les deux axes principaux caractérisant les variations pluviométriques de la Province dans l'espace :

- une nette diminution des précipitations annuelles du Sud vers le Nord ;
- une augmentation de la pluviosité sur la partie des monts Mandara située au dessus de 500 mètres d'altitude, recevant de 850 à 1100 millimètres de pluie.

Variations dans le temps des précipitations annuelles : la sécheresse au Sahel au cours des décennies 1970 et 1980, le « retour à la normale » depuis 1991

Sur la carte des précipitations annuelles, nous avons fait figurer pour les 24 stations les mieux documentées, les moyennes annuelles homogénéisées des deux périodes 1944-1969 et 1970-1995.

On voit qu'à chaque station la moyenne de la première série est systématiquement supérieure à celle de la seconde, ce qui met bien en évidence un déficit généralisé de la pluviométrie au cours de la deuxième période, tant dans le temps que dans l'espace.

Pour donner plus de détails sur ces deux périodes opposées, nous disposons des « vecteurs annuels régionaux » calculés avec la méthode MVR présentée ci-dessus. Il s'agit pour chaque région d'une série chronologique d'indices annuels qui représentent les variations pluviométriques de la totalité des postes de la région et non d'une seule station, ce qui fait tout l'intérêt de la méthode. De moyenne proche de 1.0, les indices annuels synthétisent l'abondance ou le déficit pluviométrique de l'année par une valeur respectivement supérieure ou inférieure à l'unité.

Le carton 4 représente les variations des vecteurs régionaux des trois zones pluviométriques retenues pour l'homogénéisation des séries. Sur ce carton on constate tout d'abord, ce qui est courant, une plus forte variation de l'indice sur la zone « extrême nord » la moins arrosée (différence maxi - mini = 1,12), que sur les deux autres régions assez semblables (intervalles = 0,52 et 0,59).

Concernant les différences de pluviosité avant et après 1970, on peut faire les deux observations suivantes :

- 1 Excepté pour 1947 à 1949 (zone « extrême nord » en particulier, mais il n'y a que 3 stations pour les calculs), les indices antérieurs à 1970 ont des valeurs très fréquemment supérieures à 1.00, ce qui correspond bien à des années à pluies excédentaires. Les moyennes des 26 indices annuels de 1944 à 1969 varient de 1,05 à 1,07 selon la région.

A l'inverse à partir de 1970, les indices sont très fréquemment en dessous de l'unité (moyennes 1970-1995 de 0,93 à 0,95), soit les caractéristiques d'années déficitaires.

Des mentions particulières doivent être faites pour les deux séries d'années successives très déficitaires 1971 à 1973 et 1981 à 1985.

Ce sont ces persistance d'années déficitaires, avec des intensités élevées et des répartitions géographiques assez étendues, qui ont caractérisé précisément la « sécheresse au Sahel » au cours des deux décennies 1970 et 1980 (Sircoulon, 1976, 1986).

Dans les archives pluviométriques d'Afrique de l'ouest et centrale, il faut remonter aux séries 1910-1914 (exclu 1912, record en 1913) et à un moindre degré 1940-1944, pour retrouver des événements aussi sévères. Cependant ces séries anciennes des années 1910 et 1940 ne font pas partie de longues successions d'années déficitaires (ou très faiblement excédentaires) sur deux décennies complètes, comme cela a été le cas de 1971 à 1990.

- 2 Pour tempérer l'aspect catastrophique qu'ont laissé les deux décennies 1970 et 1980, il faut signaler que la Province a retrouvé une pluviosité plus « normale » au cours des cinq dernières années étudiées (1991 à 1995). On peut en effet établir le tableau de dénombrement suivant d'après les valeurs des vecteurs :

Tableau I

Estimation de la pluviosité des cinq années 1991 à 1995 (nombre d'années par classe)

Caractère de l'année	très sèche TS	sèche S	moyenne M	humide H	très humide TH	Total
Valeur vecteur	< à 0,799	0,800 à 0,949	0,950 à 1,049	1,050 à 1,199	> à 1,200	
monts Mandara		2	1	2		5
Diamaré		1	1	3		5
«extrême-nord»	1		1	2	1	5
Total	1	3	3	7	1	15

Sur le tableau on voit qu'au total il y a eu plus d'années moyennes et humides ($3+7 = 10$ années) que de très sèches et sèches ($1+3 = 4$ années).

On peut noter que les dénombrements du Diamaré et des monts Mandara sont « centrés » sur les caractères d'années « moyennes et humides » sans année extrême (TS et TH), alors que « l'extrême - nord » comprend, lui, des années extrêmes. Ce dernier point est à mettre, une fois encore, en relation avec la grande variabilité de la pluviométrie annuelle sur les régions peu arrosées.

Il est bon de rappeler aussi que l'étude des cinq dernières années est effectuée ici par rapport à la période 1944-1995 qui présente des moyennes supérieures à celles de la norme officielle OMM des 30 années 1961-1990, comme on le voit sur le tableau II ci-dessous.

Sur ce tableau II, on a fait figurer les totaux annuels 1996 et 1997 observés à N'Djaména et Maroua-Salak et leurs caractéristiques par référence aux définitions du tableau I. On voit que si l'année 1996 a été de pluviosité moyenne (M), l'année 1997 a été elle, sèche (S) et même très sèche (TS), principalement à Maroua-Salak.

Tableau II

- a) comparaison des moyennes ici calculées (1944-1995) avec les normes OMM (1961-1990) ;
 b) totaux pluviométriques 1996 et 1997 et caractères de ces années par référence au tableau I.
 (valeurs en millimètres).

	moy. 1944 - 1995	moy. 1961 - 1990 (normes OMM)	Année 1996 (caractère)	Année 1997 (caractère)
N'Djaména	570	515	498 (M)	~ 410 (S à TS)
Maroua - Salak	830	776	838 (M)	560 (TS)

Variations saisonnières : précipitations mensuelles

Sur la même période 1944-1995 que pour les pluies annuelles, nous avons effectué une étude statistique dite de dénombrement aux trois stations représentatives des sous régions climatiques : Mokolo, Maroua et N'Djaména. Cette méthode simple consiste à déterminer sur chaque série des 52 totaux mensuels rangés (ordre croissant) différentes valeurs caractéristiques, qui sont sur le carton n° 5 :

- la médiane : la moitié des 52 observations a une valeur supérieure à cette médiane, et la moitié une valeur inférieure. Il faut rappeler que les lois de répartition des pluies mensuelles, généralement dissymétriques (non gaussiennes), entraînent que la médiane est plus représentative des valeurs centrales que la moyenne. Du fait des formes des distributions, la valeur de la médiane est très souvent inférieure à celle de la moyenne, ce qui est particulièrement visible sur les mois à faible pluviométrie.
- Le quintile supérieur : un cinquième (20%) des observations a une valeur supérieure à ce quintile.
- Le quintile inférieur : quatre cinquièmes (80%) des observations ont une valeur supérieure à ce quintile.

Bien que les lectures sur le carton 5 demandent à être faites avec une certaine précision, on voit que toutes les valeurs caractéristiques de chaque mois à Mokolo sont supérieures à celles de Maroua, elles mêmes supérieures à celles de N'Djaména.

Ce constat met bien en évidence la progressivité de variation de la durée des saisons en « descendant » la palette des précipitations annuelles des Monts Mandara vers le Sud puis le Nord de la Province

Par ailleurs comme il est courant, si l'on retient 50 millimètres de pluie mensuelle pour séparer la saison humide de la saison sèche, on constate que Mokolo et Maroua présentent toutes deux en valeurs médianes, une saison sèche de 7 mois et donc une saison humide de 5 mois (mai à septembre). A Maroua toutefois, la durée de la saison humide est à la limite entre 5 et 4 mois (en mai, la médiane est de 52,1 mm).

A N'Djaména, on a une représentation bien plus aride du lieu, avec une longue saison sèche de 9 mois et une saison humide de 3 mois (juillet à septembre). Cependant ici la saison humide est à la limite entre 3 et 4 mois (médiane de 45,2 millimètres en juin).

Ces dernières descriptions avec quelques valeurs médianes proches de la limite arbitraire de 50 millimètres donnent, elles aussi, une bonne image de la progressivité de la durée des saisons sur la Province.

Précipitations journalières

Une étude exhaustive faite par le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (Comet - Barthe, 1980) sur les données du début des observations jusqu'à 1972, permet de fournir les valeurs en millimètres de fréquences rares suivantes pour les maximums journaliers annuels :

Réurrence	annuelle	décennale	centennale
Fréquence	0,500	0,100	0,010
N'Djaména	60,5	80	110
Maroua - Salak	71,8	95	130
Bongor Préfecture	74,5	103	142

LES AUTRES ELEMENTS DU CLIMAT

Pour différentes raisons pratiques, en particulier les difficultés de réunir des données de base récentes en nombre suffisant et simultanément aux diverses stations prises en compte, les présentations des éléments du climat qui suivent sont des reprises des chiffres de deux études de J.C. Olivry (1986) et J.C. Olivry *et al.* (1996) que nous ne citerons pas systématiquement. Pour les vents, il s'agit de l'étude de J.B. Suchel (1988).

Afin d'établir un point de référence, nous avons souvent fourni les valeurs d'observations correspondantes de Yaoundé, à comparer à celles des trois stations représentatives de Mokolo, Maroua - Salak et N'Djaména.

Vents au sol

Sur les roses des vents moyens mensuels du carton 6, la longueur des branches (en %) est proportionnelle à la fréquence de l'une des huit directions [d'où vient le vent] par rapport à l'ensemble des observations, les calmes étant inclus.

Ainsi au mois de janvier, la direction la plus fréquente est le Nord (39%) puis le Nord-Est (31%), ce qui correspond à l'Harmattan. Au mois d'août les deux directions prépondérantes sont l'Ouest (18,5%) et le Sud-Ouest (18%), directions d'où vient la mousson.

Sur le document original (Suchel, 1988), on constate que les roses des vents des mois de saison sèche (novembre à mars) sont toutes très semblables, aux valeurs près, à celle de janvier ; de l'autre côté celles des mois de saison des pluies (mai à août - (septembre)) sont comparables à celle du mois d'août.

Les roses des deux mois de transition, avril et octobre, sont « intermédiaires », avec des branches N.-N.E. et S.-S.O. de fréquences maximales faibles (maximum 14%) plus ou moins égales entre elles.

Enfin, les calmes par rapport à l'ensemble des observations étant inclus dans les roses des vents, leurs surfaces sont inversement proportionnelles aux pourcentages de ceux-là, soit 14% de calmes en janvier et 36% en août, avec une moyenne de 20% pour l'ensemble de l'année. Ces valeurs relativement faibles d'observations de calmes sont à mettre en relation avec la situation bien exposée sur un aéroport de la station synoptique de Maroua-Salak.

Température de l'air

Pour donner une idée d'ensemble des fortes chaleurs régnant sur la Province, rappelons que celle-ci fait partie des régions les plus chaudes d'Afrique, après les déserts de Namibie et de la ceinture saharienne.

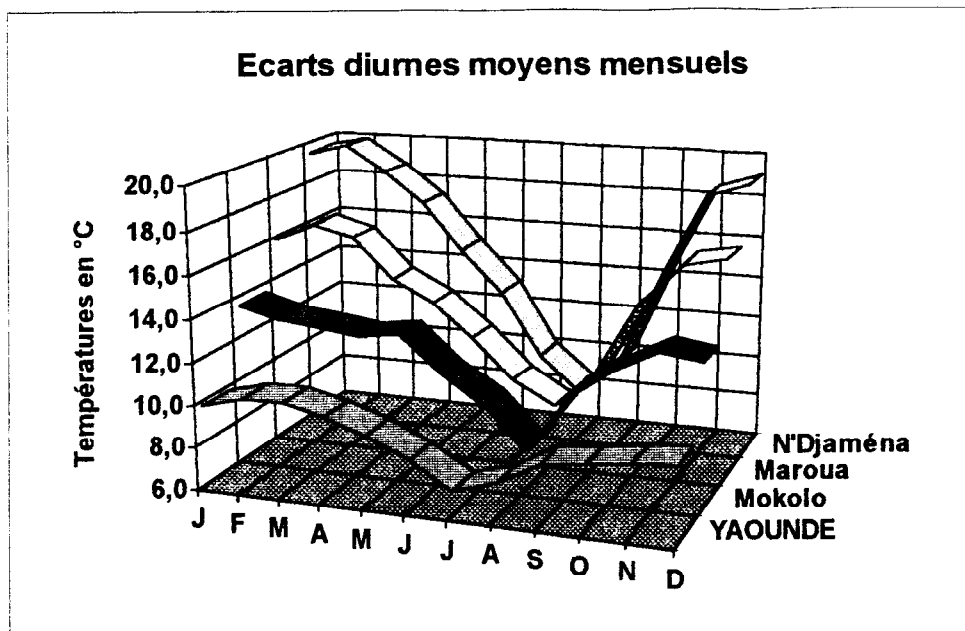
Les températures moyennes annuelles vont en décroissant de N'Djaména (28,0°C) à Maroua-Salak (27,6°) puis Mokolo (26,0°). Cette décroissance est la conséquence d'une variation des températures en latitude, combinée avec l'influence de l'altitude pour ce qui concerne le passage de Maroua (430 mètres) à Mokolo (795 m). L'altitude constitue du reste, à l'échelle de la région, le paramètre déterminant de la valeur de température moyenne annuelle, la latitude n'étant qu'un facteur secondaire.

Le carton 7 présente les moyennes mensuelles des températures maximales, minimales et moyennes ($\text{maxi} + \text{mini} / 2$) aux trois stations de référence. On y fait les remarques suivantes :

- Au cours de l'année, qu'il s'agisse des températures maximales ou minimales et donc moyennes, il y a une variation d'amplitude importante entre le mois le plus chaud et le moins chaud. Cette amplitude varie entre 6,5 et 7,0°C aux trois stations pour les moyennes. Plus au Sud, à Yaoundé, cette différence n'est plus que de 2,3°C.
- Les températures maximales présentent un minimum en août, correspondant au mois ayant les précipitations les plus abondantes. Le maximum d'avril correspondant à la fin de saison sèche. Le maximum secondaire d'octobre - novembre correspond à une période sans pluie notable non encore sous influence continentale sèche quasi continue (Harmattan).
- Les températures minimales ont un minimum en décembre - janvier, ce qui correspond à l'influence continentale avec une nébulosité très faible et des nuits fraîches.
- Les écarts diurnes moyens mensuels (température maximale moyenne - minimale moyenne du mois) sont très forts, principalement dans le Nord et en saison sèche. Ils sont représentés sur le diagramme ci-dessous, en les comparant à ceux de Yaoundé :

Dans tous les cas les écarts sont maximaux pendant la saison sèche, de novembre à mars sur la PEN, avec un maximum en février à N'Djaména (19,9°C) et à Maroua (16,7°C) et en janvier à Mokolo (13,5°). L'écart diurne est maximal à Yaoundé pendant la même saison avec 10,3°C en février et mars.

Sur la PEN les minimums interviennent en août, mois le plus arrosé, avec des valeurs variant de 7,9 à 8,8°C (7,1° en juillet à Yaoundé).



Humidité de l'air

L'humidité de l'air est calculée à partir des mesures des températures sèche et humide de l'air. Elle est rigoureusement représentée par la tension de vapeur d'eau de l'air exprimée en unité de pression (hectopascal), valeur d'autant plus faible que l'air est sec mais dépendant néanmoins de la température.

Pour des raisons de compréhension, nous avons préféré conserver l'expression courante de degré hygrométrique ou humidité relative exprimée en % ($U = 100 e/ew$), rapport de la tension de vapeur réelle (e) à la tension saturante (ew) pour une même température de l'air.

Le carton 8 représente les humidités relatives moyennes mensuelles des maximums journaliers mesurés à 6 heures, et des minimums mesurés à 12 heures.

Globalement à l'échelle annuelle on voit que la ville de Yaoundé a un air bien plus humide (moyenne générale de 83 %) que celui de la Province Extrême Nord, avec 48 % à Maroua et 46 % à N'Djaména.

Comparativement aux deux stations de la PEN, les courbes de Yaoundé sont relativement plates : les maximums restent voisins de la saturation de l'air en eau (97 et 98%), tandis que les minimums sont encore élevés, entre 59% en février et 75% en saison humide (juillet - août).

Aux stations de la PEN, les quatre courbes « en cloche » ont des similitudes certaines entre elles, avec ici aussi des pointes centrées sur la saison humide (août - (septembre)) et des creux sur la saison sèche (février - mars).

Un point intéressant à noter sur le carton 8 et qui pourrait paraître paradoxal à première vue, est qu'au cœur de la saison sèche (décembre à mars), les humidités maximales de Maroua sont vraiment faibles et surtout inférieures à celles de N'Djaména situé pourtant 190 kilomètres plus au Nord. En fait ceci doit être mis en relation avec des températures minimales (et moyennes) de l'air bien plus fortes ces mois-là à Maroua qu'à N'Djaména (Cf. carton 7).

Insolation

La durée d'insolation est mesurée à l'aide d'un héliographe Campbell. Le principe de l'appareil est simple : une sphère de verre massif dite souvent « boule de cristal » focalise les rayons du soleil

sur une bande de carton, provoquant ainsi un trait de brûlure dont la longueur est proportionnelle à la durée pendant laquelle le soleil a été présent. La mesure est exprimée en heures et dixièmes.

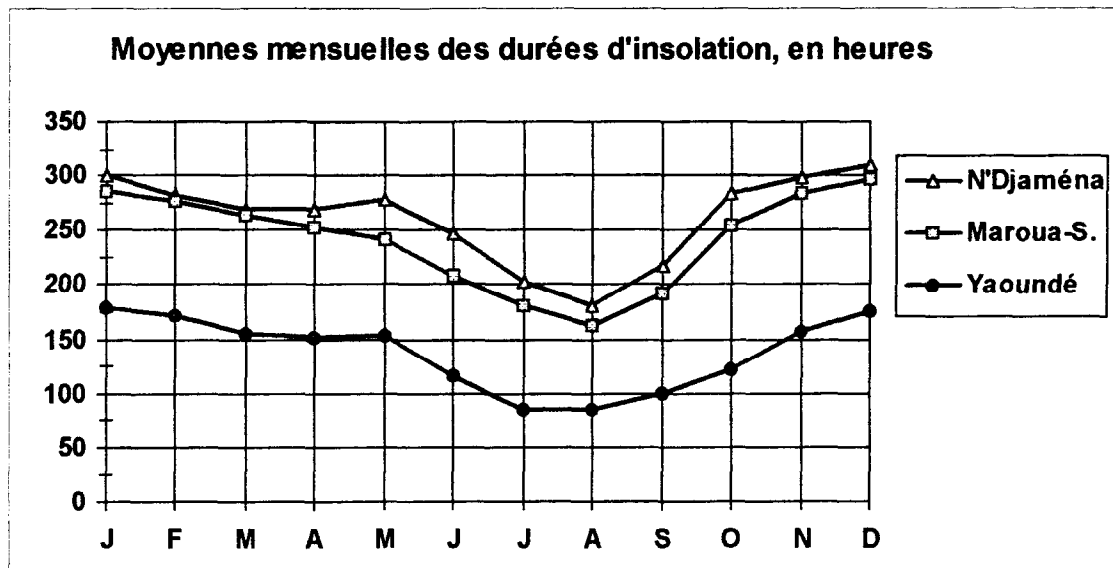
Les durées d'insolation moyennes mensuelles à N'Djaména, Maroua-Salak et Yaoundé sont données sur la figure ci-dessous que l'on peut interpréter comme suit :

La durée moyenne annuelle de présence du soleil est presque double sur le Nord de la PEN, à N'Djaména (3150 heures) de celle observée à Yaoundé (1650 h.). A Maroua-Salak, on mesure 2900 heures moyens annuels.

Sur la PEN, chaque mois (excepté août à Maroua) a une valeur supérieure au maximum mensuel de Yaoundé (178 heures en janvier).

Concernant la répartition mensuelle, on a naturellement un minimum pendant la saison des pluies (août sur la PEN) et un maximum en saison sèche (décembre sur la Province).

Pour une raison qui nous échappe (due aux données retenues ?), la reprise d'insolation observée en mai tant à N'Djaména qu'à Yaoundé, n'est pas visible à Maroua.



AGROCLIMATOLOGIE

L'agroclimatologie peut être définie comme l'étude des interactions « climat - sol - plante ». Plus précisément il s'agit de l'étude de l'action des facteurs du climat sur le comportement des plantes, et dans le cas qui nous intéresse sur la productivité des cultures.

Evapotranspiration potentielle (ETP)

Avec la pluie, l'évapotranspiration est un des facteurs essentiels du climat aux yeux des professionnels de l'eau et de l'agroclimatologue en particulier.

On groupe sous ce nom d'évapotranspiration l'ensemble des processus d'évaporation physique et de transpiration des plantes. Sa mesure directe, effectuée à un lysimètre ensemencé de la plante étudiée, est rare dans le monde du fait de la lourdeur d'exploitation de l'appareillage. Heureusement de nombreuses études ont permis d'approcher les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) d'un lieu, terme représentant le pouvoir évaporant maximum de l'atmosphère sans restriction d'eau pour la plante. Parmi ces travaux, la formule de Penman est unanimement reconnue.

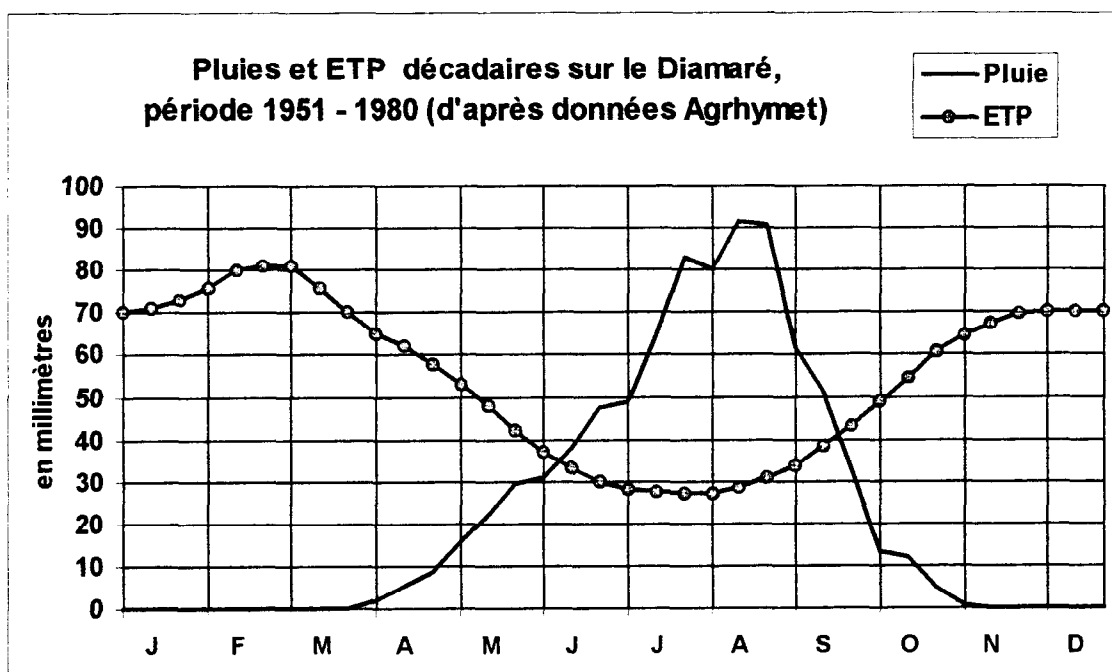
Dans cette formule, l'ETP est calculée à partir des autres éléments du climat et en particulier : la température de l'air, sa tension de vapeur d'eau (humidité), le rayonnement (durée d'ensoleillement) et la vitesse du vent à 2 mètres. L'ETP est exprimée en millimètre de hauteur d'eau, journalière, décadaire, mensuelle ou annuelle, ce qui permet une comparaison directe avec la pluie.

L'ETP annuelle médiane (une année sur deux) calculée avec la formule de Penman modifiée par la FAO (Food and Agriculture Organization) sur la période 1951-1980 est, en valeurs arrondies, de : 2150 mm à N'Djaména et 2000 mm à Maroua-Salak. Elle peut être estimée à 1200 mm à Yaoundé.

A Maroua-Salak, les totaux mensuels médians d'ETP varient entre 85 mm en juillet et 235 mm en mars

La figure ci-dessous donne les valeurs décadaires médianes d'ETP à la station de Maroua-Salak, représentative du Diamaré ; elles varient entre 27 mm pour la dernière décade de juillet et 81 mm fin février, début mars.

Dans le but de régionaliser la présentation, les ETP à Maroua sont comparées aux valeurs médianes des précipitations décadaires de deux stations groupées du Diamaré : Maroua-Salak et Bongor au Tchad. On voit tout de suite sur le graphique l'énorme besoin en eau insatisfait de mi-septembre à fin mai, soit pendant huit mois et demi.



Bilan hydrique des cultures

Un modèle classique en agroclimatologie est le **bilan hydrique** d'une culture à un site - en général une station climatologique - dans lequel on calcule pas à pas le devenir des eaux de pluie (ou d'irrigation) face à la demande évaporatoire du climat. Ce devenir de l'eau peut être le suivant :

- Quand la pluie est suffisante - ici de début juin au 15 septembre, l'ETP est entièrement satisfaite et on dit alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) est égale à l'évapotranspiration potentielle (ETP).

- Après satisfaction des plantes, il y a infiltration dans le sol jusqu'à une valeur dite de « réserve utile (RU) » qui doit être estimée par l'agroclimatologue en fonction des caractéristiques du sol et de la plante. Cette réserve est de l'ordre de 30 mm par mètre d'épaisseur pour un sol sableux et de 120 à 200 mm pour un sol argileux.

- Lorsque la pluie est inférieure à l'ETP, il y a alimentation hydrique de la plante (transpiration) et de l'atmosphère (évaporation) à partir de la réserve en eau du sol, si celle-ci n'est pas déjà entièrement vide. Dès que la RU est asséchée, il y a besoin en eau d'irrigation.

- Enfin, en dehors des besoins de la plante et de l'évaporation physique, on peut avoir du ruissellement à la surface du sol formant rigoles, ruisseaux et rivières, et du drainage en profondeur vers les nappes, pour la partie de l'eau infiltrée non retenue par le sol.

Les besoins particuliers connus par des mesures de chaque culture modulent ce bilan et permettent d'évaluer l'effet des variations climatiques sur la production.

Les auteurs de l'Atlas du CILSS ont écrit et mis en oeuvre une série de logiciels permettant de simuler année par année les comportements face aux aléas du climat de six cultures types (mil, sorgho, niébé, arachide, maïs et riz pluvial) répartis en dix cultivars à durées de cycle végétatif différentes (par exemple mil de 90 jours et mil de 120 jours ...).

La période de 36 années prise en compte (1950 à 1985) est caractérisée par une première série de 18 années (1950-1967) au cours desquelles la pluviosité a été plutôt excédentaire, puis par la période 1968-1985 comprenant d'assez nombreuses années déficitaires et très déficitaires, avec souvent de mauvaises répartitions mensuelles des pluies pendant la saison humide.

Le pas de temps retenu pour les calculs est la décade, en effet dix jours représentent un intervalle suffisamment court pour admettre que les plantes puissent compenser les agressions climatiques temporaires que sont l'absence de pluie et/ou les températures élevées.

Pour chaque décade successive, le logiciel prend en compte les valeurs de pluie observée et de l'ETP calculée par la formule de Penman (FAO), ainsi que les coefficients culturaux de besoin en eau de la plante et ses coefficients de réponse aux stress hydriques. Les réserves utiles du sol retenues sont adaptées à chaque type de culture, compte tenu du contexte pédologique local.

En dehors de renseignements pouvant être utilisés en temps réel par des gestionnaires (besoin en eau d'irrigation, prévisions de rendements ...), la méthode a permis de cartographier les résultats des études statistiques relatives à deux informations agroclimatologiques intéressantes :

- les indices de rendement agricole espéré (IRESP) des dix cultivars ;
- leurs dates optimales de semis.

Indice de rendement agricole espéré - IRESP

Cet indice exprimé en % du rendement maximum, traduit le niveau de productivité du cultivar à l'hectare du point de vue de la seule alimentation en eau de pluie, en faisant abstraction de tous les autres facteurs limitatifs, tels que la fertilité du sol, la diminution des temps de jachère ...

Sur les cartons 9a et 9b ces indices calculés sur la période sèche 1968-1985 sont présentés pour quatre occurrences d'apparition comprises entre une année sur deux (1 sur 2, correspondant à la fréquence 0.50) et quatre années sur cinq (4 sur 5, fréquence 0.80), cette dernière occurrence correspondant à un bon niveau de réussite dans la stratégie d'un agriculteur.

Bien que les échelles des IRESP en ordonnée aient été choisies volontairement différentes, on voit tout de suite que les rendements espérés pouvaient être estimés encore prometteurs à Maroua, mais au contraire désastreux à N'Djaména sur la période sèche 1968-85 :

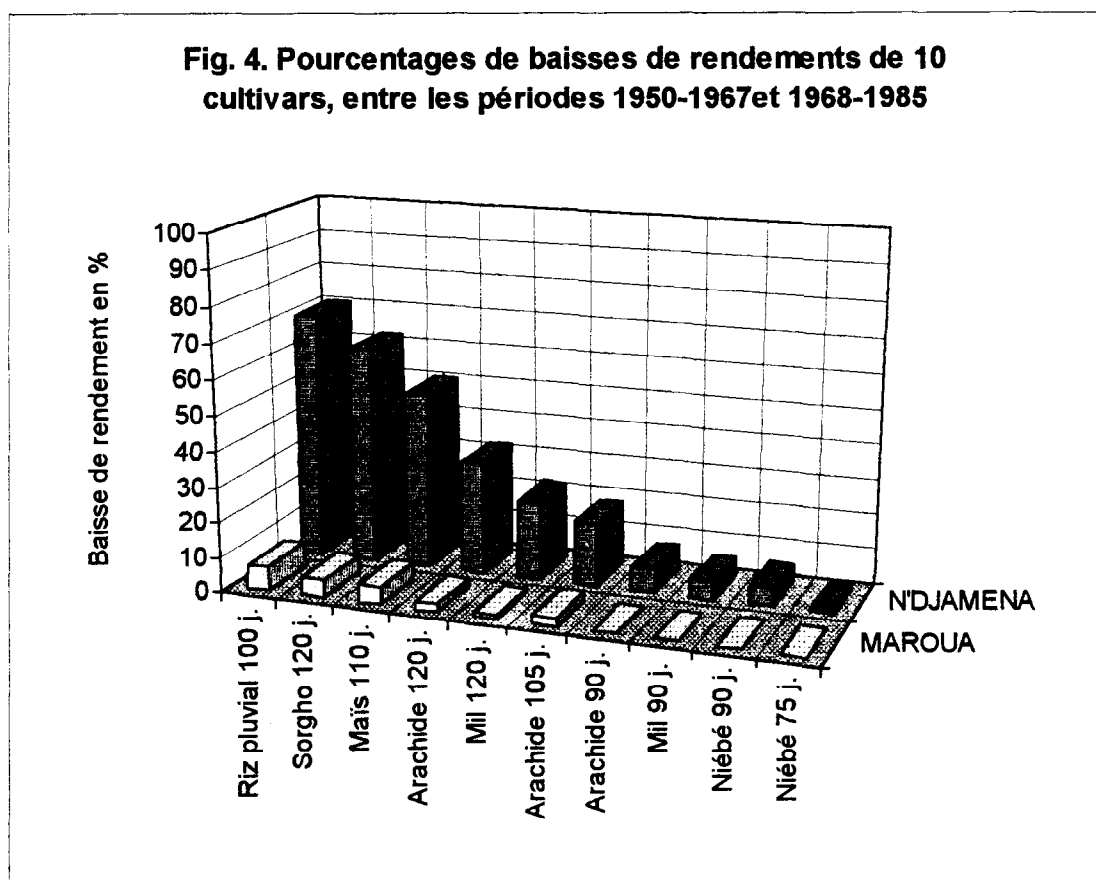
• **A Maroua**, en dehors du sorgho de 120 jours pour lequel quatre années sur cinq IRESP = 85%, tous les autres indices de rendement agricole espéré ont été égaux ou supérieurs à 90% ; ce qui représente des conditions relativement favorables pour des tentatives d'ensemencement des cultivars étudiés.

On note, ce qui est somme toute logique, que les valeurs d'IRESP sont d'autant plus élevées que le cultivar est précoce (75 jours, puis 90, 100 ...), avec une mention particulière pour le riz pluvial de 100 jours, qui est exploité en fait dans des conditions hydriques particulières, dans des bas fonds par exemple.

Concernant les baisses de rendement agricole imputables à la sécheresse observée depuis 1968, la figure 4 ci-dessous présente pour les dix cultivars les baisses que l'on a pu calculer entre la période humide 1950-67 et la période sèche 1968-85.

Bien que beaucoup plus faibles à Maroua qu'à N'Djaména, ces baisses de rendement calculées montrent que la période de sécheresse a eu une influence non négligeable (5 à 7% de baisses) sur les cultures les plus exposées aux chocs hydriques, à savoir dans l'ordre : le riz pluvial-100, le sorgho-120 et le maïs-110.

L'influence de la sécheresse est encore significative (baisse de 1 et 2%) avec les cultivars d'arachide et de mil de plus de 100 jours. Par contre, elle ne semble pas avoir eu d'impact (théorique) sur les cultures précoces d'arachide-90, de mil-90 et de niébé-90 et 75.



A N'Djaména, on voit sur le carton 9b que les quatre premiers cultivars les plus exigeants en eau (riz-100, sorgho-120, maïs-110 et arachide-120), si tant est qu'ils aient pu être plantés et récoltés dans cette région, n'ont autorisé sur la période sèche 1968-85 que des espoirs de rendement IRESP au maximum de 50% une année sur 2 pour l'arachide (40% pour le maïs) et bien en dessous pour les autres occurrences présentées. On peut dire sans exagération que les espoirs de réussite de ces quatre cultivars ont été très très minces, sinon nuls de 1968 à 1985.

A la lecture du même carton 9, on voit que les espoirs ont été aussi très réduits pour les deux cultivars suivants (mil-120 et arachide-105) : IRESP = 70% une année sur deux et 50% quatre années sur 5.

Seuls les cultivars précoces (arachide-90, mil-90, niébés 90 et 75) ont présenté au cours des années de sécheresse des indices de rendement agricole espéré de l'ordre ou supérieurs à 80% quatre années sur cinq, sans atteindre 100% toutefois. Ce sont donc les seuls cultivars qui ont, théoriquement, pu être semés et récoltés au cours des années de sécheresse au Sahel.

Concernant les baisses de rendement agricole entre la période humide 1950-67 et la période sèche 1968-85, la figure 4 ci-dessus donne ces valeurs en pourcentage pour chaque cultivar.

Si d'un seul point de vue théorique, on avait considéré ci-dessus pour Maroua que les baisses pouvaient paraître relativement modestes, les diagrammes comparés aux deux stations montrent toute l'ampleur du « désastre agricole » à N'Djaména pour tous les cultivars. En effet les baisses d'IRESP entre périodes humide et sèche ont été au moins dix fois plus fortes à N'Djaména qu'à Maroua pour chaque cultivar.

On peut faire la lecture simultanée suivante du carton 9b et de la figure 4 :

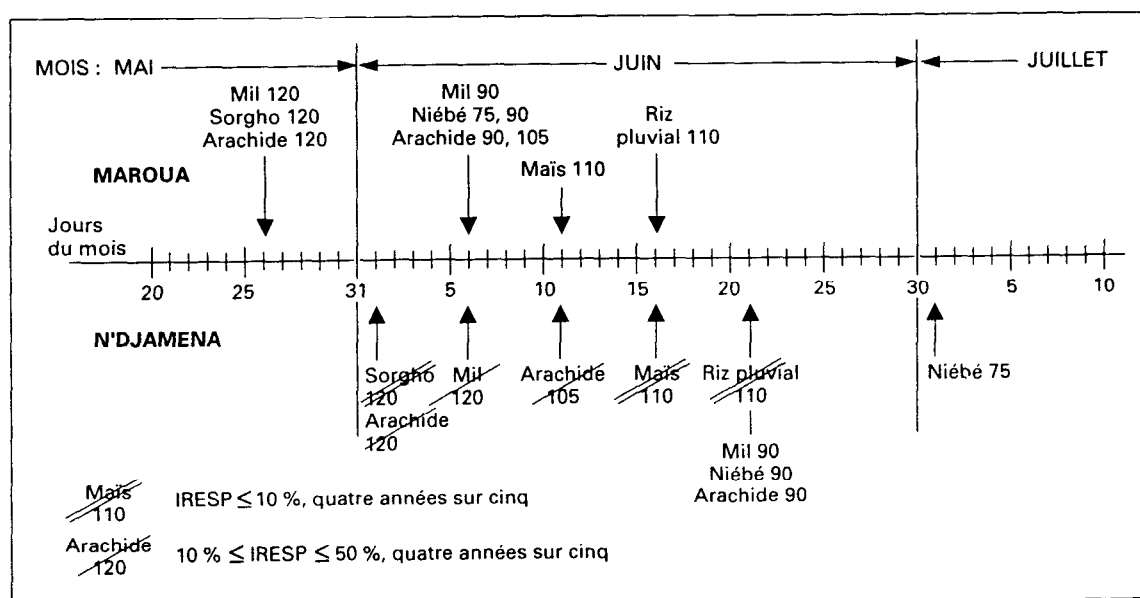
- Pour le riz pluvial de 100 jours et l'occurrence d'une année sur deux, l'indice de rendement agricole espéré est tombé de 90% (20% du carton 9b + 70% de la figure 4) en période humide, à 20% en période sèche. Pour une occurrence de 4 années sur 5, le rendement a chuté de 77% à 7%.
- Pour le sorgho de 120 jours et les mêmes occurrences, les rendements agricoles calculés sont tombés, du fait de la sécheresse, de 82 à 20%, et 70 à 8%.
- Pour le maïs de 110 jours : 90 à 40% (occurrence 1 sur 2) et 58 à 8% (4 sur 5).
- Arachide de 120 jours : 82 à 50% et 64 à 32%

Dates optimales de semis

Les dates optimales de semis pour les dix cultivars pris en compte sont d'autres résultats obtenus à partir des bilans hydriques décennaux simulés.

La figure 5 ci-dessous est le calendrier de ces optimums culturaux établis pour Maroua et N'Djaména d'après les cartes publiées.

Figure 5 Dates optimales des semis de dix cultivars (période 1968-1985)



Sur la figure 5 ci-dessus nous avons mis en évidence les six cultivars pour lesquels il a fallu abandonner tout espoir d'obtention de résultat correct à N'Djaména au cours de la période de sécheresse, ces cultures n'ayant présenté que des valeurs d'IRESP inférieures à 10%, ou à 50% dans les meilleurs des cas, pour l'occurrence courante de 4/5 années.

Il est important de noter que l'étude statistique n'a pas permis, à Maroua-Salak et N'Djaména, de mettre en évidence un changement significatif des dates optimales entre la période humide 1950-67 (non fournie ici) et la période sèche 1968-85. D'après les auteurs de l'Atlas, ceci montrerait :

« d'une part la *stabilité dans les démarrages des précipitations [agricoles utiles, entre les deux périodes humide et sèche]* et d'autre part l'avantage d'une mise en place précoce des cultures. Dans certains pays du Sahel, cette précocité est obtenue par des semis en sec. »

« Le paramètre date de semis n'est en fait qu'indicatif, car en réalité les paysans répartissent les semis entre toutes les pluies mouillant bien le sol et, pour eux, il n'y a pas une date unique de plantation. C'est une pratique qui accroît les chances de réussite à cause des fluctuations [d'une année à l'autre] dans l'installation de la saison des pluies.

Dans les zones les plus septentrionales les cultivars les plus précoces [75 à 90 jours] permettent une plus grande marge de manoeuvre pour le moment de leur mise en place ».

Conclusion sur l'agroclimatologie

On peut dire que l'ensemble de la Province Extrême Nord a été touché par les conséquences agroclimatiques des stress hydriques de la période sèche 1968-1985, faisant partie des deux décennies 1970 et 1980 marquant la « sécheresse au Sahel ». Ces conséquences ont été plus ou moins importantes entre les deux extrêmes décrits ci-dessus, à savoir :

- sur le Diamaré (station de Maroua), des baisses d'indices de rendements agricoles espérés (maximum 7%) qui ont pu être supportées, au moins à l'échelle macro-économique de l'ensemble de la zone agricole ;
- sur « l'extrême - nord » de la Province Extrême Nord (station de N'Djaména), des baisses de rendement agricole insupportables, qui ont entraîné d'énormes difficultés ou des impossibilités de culture pour ce qui concerne les cultivars de durées de cycle végétatif supérieurs ou égaux à 100 jours.

Les baisses de rendement agricole calculées ont été non négligeables (1 à 7%) pour les autres variétés plus précoces (en dessous de 100 jours). Parmi les dix cultivars étudiés, les variétés « peu touchées » sont au nombre réduit de quatre : l'arachide et le mil de 90 jours et les niébés de 90 et 75 jours.

Au total pour la partie septentrionale de l'Extrême Nord, la période dite de la « sécheresse au Sahel » a été une catastrophe agronomique. Il convient toutefois de la tempérer par le développement parallèle de cultures de contre - saison, véritables réponses à cette série de stress. Il s'agit des sorghos repiqués dits *muskuwaari*, de la création de périmètres rizicoles le long du bas Logone, de l'accroissement spectaculaire des cultures maraîchères et, enfin, d'une mise en culture (maïs, niébé) sur une grande échelle des laisses du lac Tchad.

REMERCIEMENTS

Les personnes suivantes doivent être remerciées par l'auteur : Mr Jean Bernard Suchel professeur à l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne pour la recherche de documents

pluviométriques anciens, Mr Michel Molinier représentant de l'Orstom au Cameroun pour la recherche et l'obtention d'un grand nombre de données pluviométriques récentes du Cameroun (1981 à 1995, puis 1996 et 1997), MM. Jean Pierre Triboulet, Rui Silva et Bonaventure Somé d'Agrhyment pour différents calculs sur la pluviométrie de Maroua et enfin Mr Germain Krier de l'Orstom pour sa lecture critique du texte et des illustrations.

BIBLIOGRAPHIE

AGRHYMET (1997) : Travaux inédits à la demande sur les données de précipitations décennales de Maroua-Salak, période 1951-1980.

ASECNA (1973). *La structure continue de l'équateur météorologique sur l'Afrique intertropicale*. Bureau de la Direction de l'Exploitation de la Météorologie, N° 29. Dakar. 150 p.

BEAUVILAIN A. (1995). *Tableau de la pluviométrie dans les bassins du Tchad et de la Bénoué, de la création des stations à décembre 1994*. Documents pour la recherche n° 3. Centre national d'appui à la recherche (Cnar). N'Djaména. 103 p.

CIEH / ORSTOM, Service Hydrologique. (1973 à 1979). *Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965*, Républiques du Dahomey, Tchad, Côte d'Ivoire, Mali, Sénégal, Niger, Haute-Volta, Mauritanie, Togo, Gabon, Cameroun (début à 1972). Ed. de l'Orstom. 11 volumes de 314 à 1082 p.

CIEH / ASECNA / Serv. Météo. Nationaux / ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie. (1989 et 1990). *Précipitations journalières de 1966 à 1980, République...* (Cf. ci-dessus, plus Centrafrique du début à 1965). 14 volumes de 181 à 1026 p.

CILSS / PNUD / OMM / Coopération Française / MOREL R. (1992). *Atlas agroclimatologique des pays de la zone du CILSS* (Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel). Programme AGRHYMET, Niamey. 11 volumes de textes et cartes.

COCHONNEAU G., HIEZ G., SECHET P. & L'HOTE Y. (1992). *MVR 1.5, logiciel pour la critique, l'homogénéisation et la synthèse d'observations pluviométriques*. Collection LogORSTOM. Paris. 190 p. dont tableaux et fig., 6 disquettes.

COMET - BARTHE J. (1980). *Etude de synthèse des pluies journalières de fréquence rare au Cameroun*. CIEH, Ouagadougou. 76 p.

DHONNEUR G. [1985] *Traité de météorologie tropicale. Application au cas particulier de l'Afrique occidentale et centrale*. [Bureau d'étude de l'Asecna, Paris, Dakar]. 151 p.

DIRECTION DE LA METEOROLOGIE NATIONALE DU CAMEROUN. *Précipitations mensuelles aux stations, années 1981 à 1995*. Données obtenues sur place.

LEROUX M. (1983). *Le climat de l'Afrique tropicale*. Thèse doct. d'Etat. Ed. Champion. 2 vol. texte 633 p. + atlas 24 p. et 250 cartes et fig.

L'HOTE Y., MAHE G. (1996). *Afrique de l'ouest et centrale ; précipitations moyennes annuelles (période 1951-1989)*. Carte à l'échelle 1/ 6 000 000 ème. 90 x 60 cm. Edition de l'Orstom, Paris.

LOPEZ P. (1993). *Etude de la représentation des lignes de grains africaines dans les analyses du modèle du Centre européen*. Ecole Nationale de Météorologie de Toulouse ; Centre Orstom de Montpellier. 2 vol. 42 p. et fig.

OLIVRY J.C. (1986). *Fleuves et rivières du Cameroun*. Mesres - Orstom. Collection « Monographies hydrologiques de l'Orstom » n° 9. Paris. 733 p. 360 tab. 2 cartes.

- OLIVRY J.C., CHOURET A., VUILLAUME G., LEMOALLE J., BRICQUET J.P. (1996). *Hydrologie du Lac Tchad*. Collection « Monographies hydrologiques de l'Orstom » n° 12. Paris. 266 p.
- SIRCOULON J. (1976). *Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses « 1913 » et « 1940 »*. In Cahiers Orstom, sér. Hydrol., vol. XIII, n° 2, 1976, pp. 75 : 174.
- SIRCOULON J. (1986). *La sécheresse en Afrique de l'ouest. Comparaison des années 1982-1984 avec les années 1972-1973*. In Cahiers Orstom, sér. Hydrol., vol. XXI, n° 4, 1984-85, pp. 75 : 86.
- SUCHEL J. B. (1988). *Les climats du Cameroun*. Thèse doct. d'Etat, Univers. de St Etienne. 4 vol. texte 1188 p. + atlas 332 fig. et 18 images satellitaires.

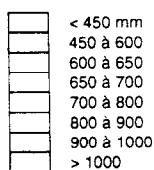
Carte 1 PRÉCIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES (Période 1944 - 1995)

Durée d'observation des stations de 1944 à 1995

- 6 à 9 ans
- ⊕ 10 à 15 ans
- ⊗ 16 à 24 ans
- ≥ 25 ans
- ⊖ Station synoptique (≥ 25 ans)

Gansé 640 Moyenne de la période 1944-1995

Mokoio 1035 Moyenne de la période 1944-1969
1020 Moyenne de la période 1944-1995
1000 Moyenne de la période 1970-1995



0 10 20 30 40 50 km

LAC TCHAD

Tourba 410

Makari 420

Fotokol 485

Gouffey 480

Afadé 520

N'Djamena 620
570
500

Kousséri 525

Logone-Birni 560

Mandali 535

Waza 630
600

Kolofata 660

Gansé 640

Doulo 680

Mora 705

Djoundé 700

Nguetchéwé 760

Guélaté 850

Djingla 810

Mokolo 1035
1020
1000

Mogodé 1090
1030

Sir 1085
1030
960

Hina-Marbak 955
905
855

Bourah 960
1015
1030

Mayo-Oulo 1020
950

Guidar 930
895

Zongova (800)

Maroua Salak 850
830
780

Maroua agro 760

Matfay 775

Mindif 785

Lam 915
885
845

Mombarous 875

Kaelé 790

Guidigué 795

Doukoul 870
820
780

Golompou 920
860
810

Fianga 850
815

Guibi-Guéré 830
880

Djondong 825

Vounaloum 800

Yagoua 840
780
735

Dana 830

Bongor 760
725
675

Billiam-Oursy 745
715
675

Pouss 650

Doubbel-Petté 675

Bogo 685
640

Papata 730

Godola 850

Méri 830

Mokyo 660

Mada-Kolkos 935
895
830

Mora 705

Doulo 680

Gansé 640

Kolofata 660

Nguetchéwé 760

Guélaté 850

Djingla 810

Mokolo 1035
1020
1000

Mogodé 1090
1030

Sir 1085
1030
960

Hina-Marbak 955
905
855

Bourah 960
1015
1030

Mayo-Oulo 1020
950

Guidar 930
895

Zongova (800)

Maroua Salak 850
830
780

Maroua agro 760

Matfay 775

Mindif 785

Lam 915
885
845

Mombarous 875

Kaelé 790

Guidigué 795

Doukoul 870
820
780

Golompou 920
860
810

Fianga 850
815

Guibi-Guéré 830
880

Djondong 825

Vounaloum 800

Yagoua 840
780
735

Dana 830

Bongor 760
725
675

Billiam-Oursy 745
715
675

Pouss 650

Doubbel-Petté 675

Bogo 685
640

Papata 730

Godola 850

Méri 830

Mokyo 660

Mada-Kolkos 935
895
830

Mora 705

Doulo 680

Gansé 640

Kolofata 660

Nguetchéwé 760

Guélaté 850

Djingla 810

Mokolo 1035
1020
1000

Mogodé 1090
1030

Sir 1085
1030
960

Hina-Marbak 955
905
855

Bourah 960
1015
1030

Mayo-Oulo 1020
950

Guidar 930
895

Zongova (800)

Maroua Salak 850
830
780

Maroua agro 760

Matfay 775

Mindif 785

Lam 915
885
845

Mombarous 875

Kaelé 790

Guidigué 795

Doukoul 870
820
780

Golompou 920
860
810

Fianga 850
815

Guibi-Guéré 830
880

Djondong 825

Vounaloum 800

Yagoua 840
780
735

Dana 830

Bongor 760
725
675

Billiam-Oursy 745
715
675

Pouss 650

Doubbel-Petté 675

Bogo 685
640

Papata 730

Godola 850

Méri 830

Mokyo 660

Mada-Kolkos 935
895
830

Mora 705

Doulo 680

Gansé 640

Kolofata 660

Nguetchéwé 760

Guélaté 850

Djingla 810

Mokolo 1035
1020
1000

Mogodé 1090
1030

Sir 1085
1030
960

Hina-Marbak 955
905
855

Bourah 960
1015
1030

Mayo-Oulo 1020
950

Guidar 930
895

Zongova (800)

Maroua Salak 850
830
780

Maroua agro 760

Matfay 775

Mindif 785

Lam 915
885
845

Mombarous 875

Kaelé 790

Guidigué 795

Doukoul 870
820
780

Golompou 920
860
810

Fianga 850
815

Guibi-Guéré 830
880

Djondong 825

Vounaloum 800

Yagoua 840
780
735

Dana 830

Bongor 760
725
675

Billiam-Oursy 745
715
675

Pouss 650

Doubbel-Petté 675

Bogo 685
640

Papata 730

Godola 850

Méri 830

Mokyo 660

Mada-Kolkos 935
895
830

Mora 705

Doulo 680

Gansé 640

Kolofata 660

Nguetchéwé 760

Guélaté 850

Djingla 810

Mokolo 1035
1020
1000

Mogodé 1090
1030

Sir 1085
1030
960

Hina-Marbak 955
905
855

Bourah 960
1015
1030

Mayo-Oulo 1020
950

Guidar 930
895

Zongova (800)

Maroua Salak 850
830
780

Maroua agro 760

Matfay 775

Mindif 785

Lam 915
885
845

Mombarous 875

Kaelé 790

Guidigué 795

Doukoul 870
820
780

Golompou 920
860
810

Fianga 850
815

Guibi-Guéré 830
880

Djondong 825

Vounaloum 800

Yagoua 840
780
735

Dana 830

Bongor 760
725
675

Billiam-Oursy 745
715
675

Pouss 650

Doubbel-Petté 675

Bogo 685
640

Papata 730

Godola 850

Méri 830

Mokyo 660

Mada-Kolkos 935
895
830

Mora 705

Doulo 680

Gansé 640

Kolofata 660

Nguetchéwé 760

Guélaté 850

Djingla 810

Mokolo 1035
1020
1000

Mogodé 1090
1030

Sir 1085
1030
960

Hina-Marbak 955
905
855

Bourah 960
1015
1030

Mayo-Oulo 1020
950

Guidar 930
895

Zongova (800)

Maroua Salak 850
830
780

Maroua agro 760

Matfay 775

Mindif 785

Lam 915
885
845

Mombarous 875

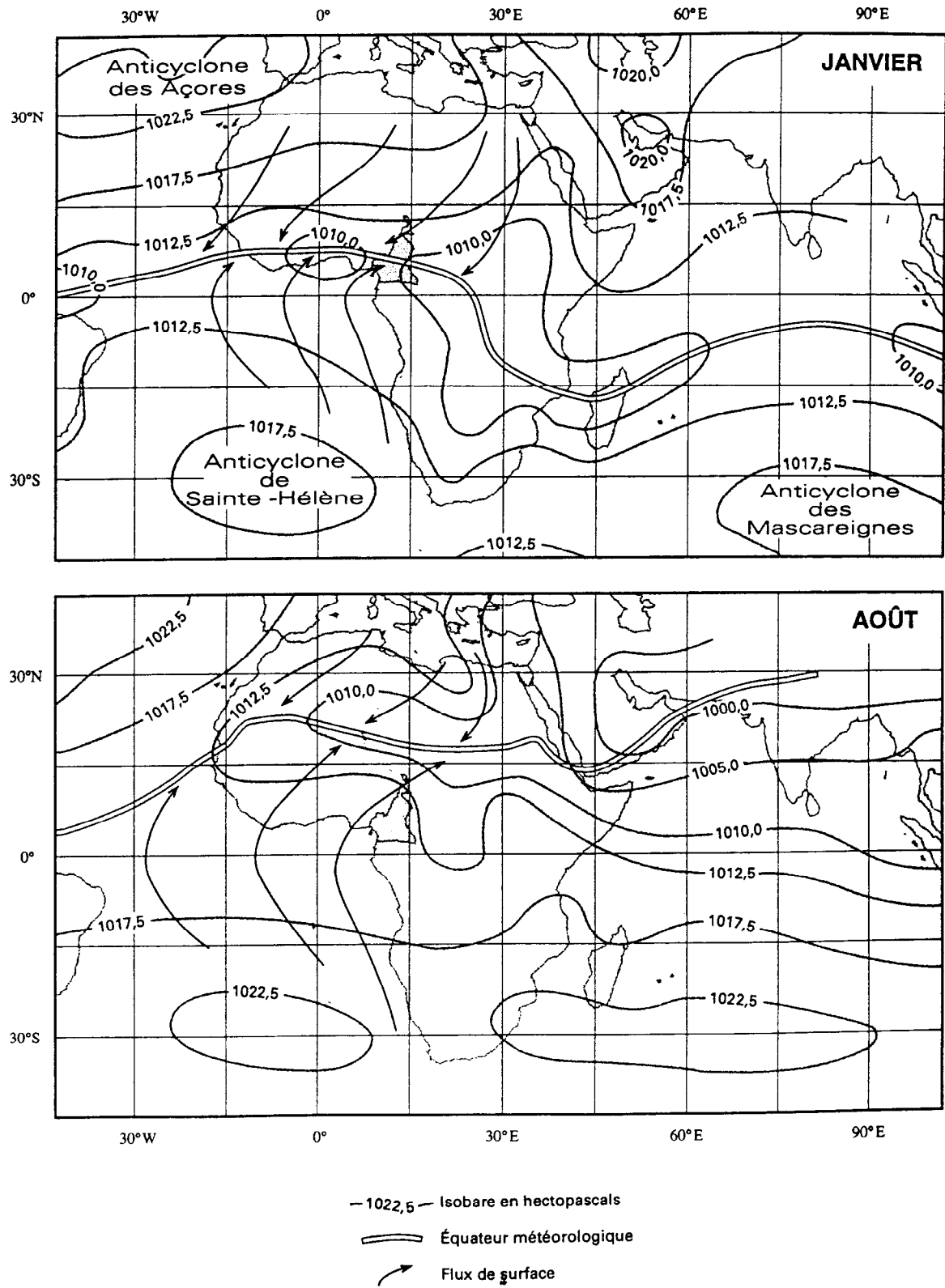
Kaelé 790

Guidigué 795

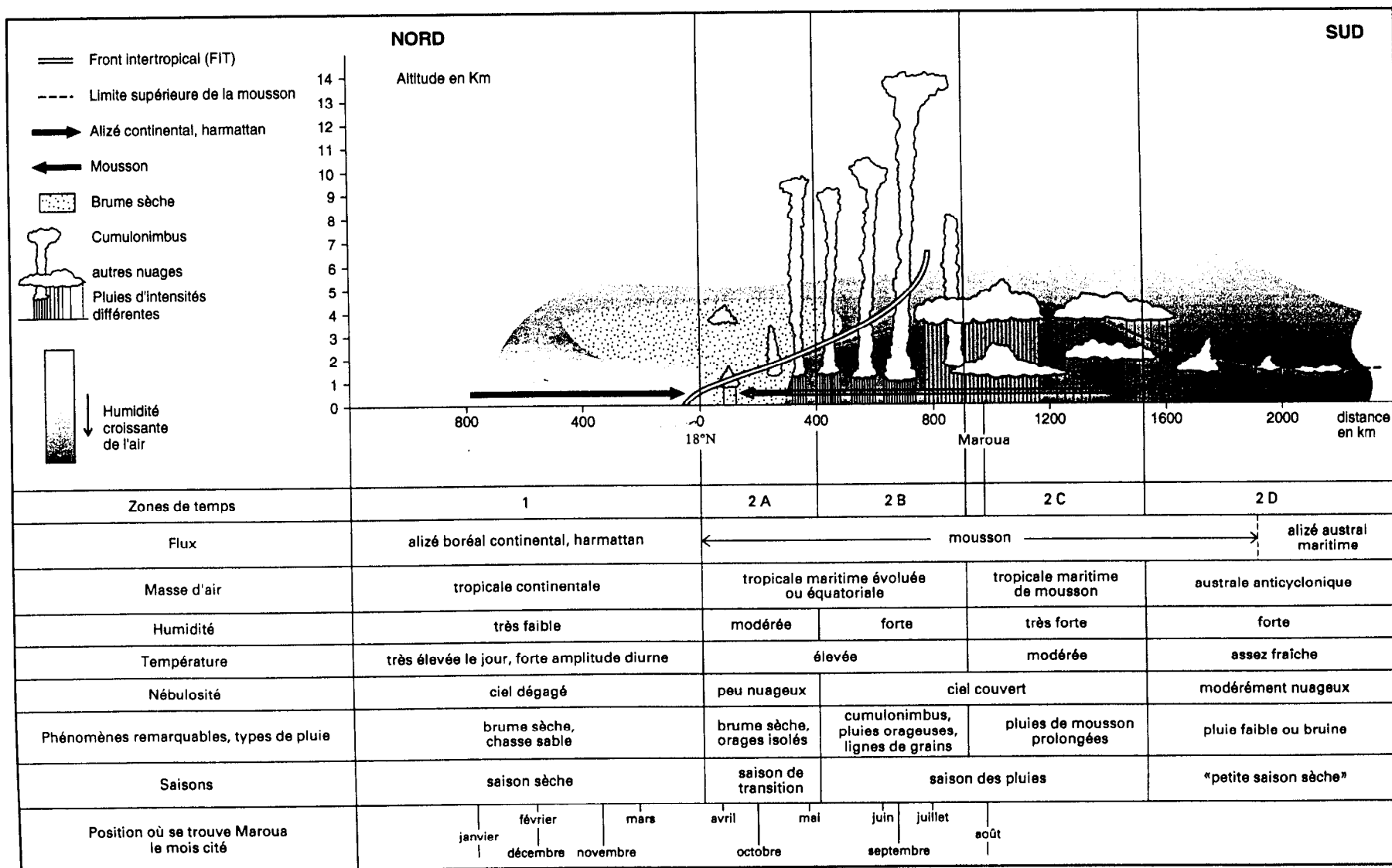
Doukoul 870
820
780

Golompou 920
860
810

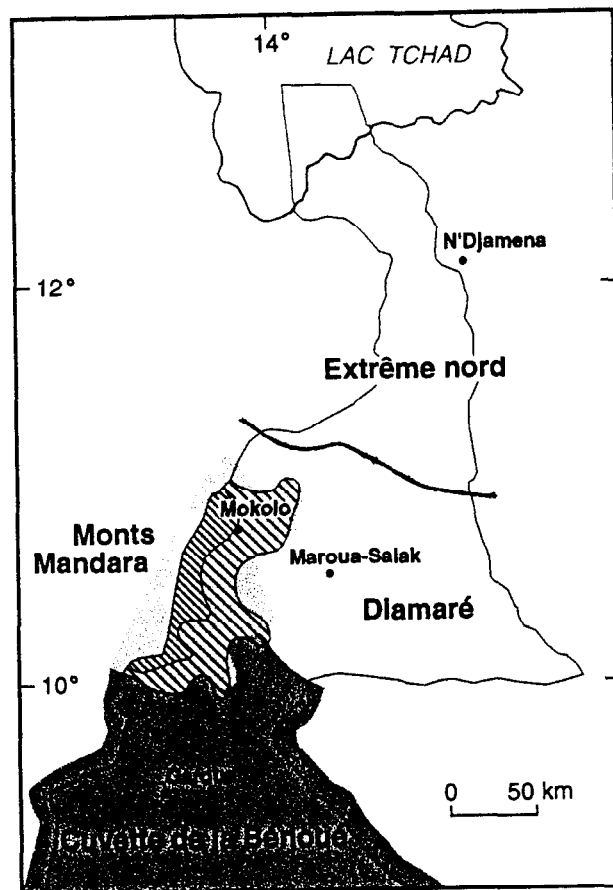
Carton 1 - Positions moyennes de l'équateur météorologique en surface et circulations dans les basses couches, en janvier et août (d'après Asecna, 1973, modifié)



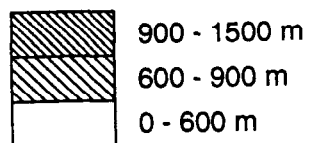
Carton 2 - Coupe méridienne dans l'atmosphère en août, passant par Maroua, et répartition en zones de temps (d'après J.B. Suchel, 1988, modifié)



**Carton 3 - Découpage en régions climatiques et stations de référence
(d'après J. B. Suchel, 1988)**

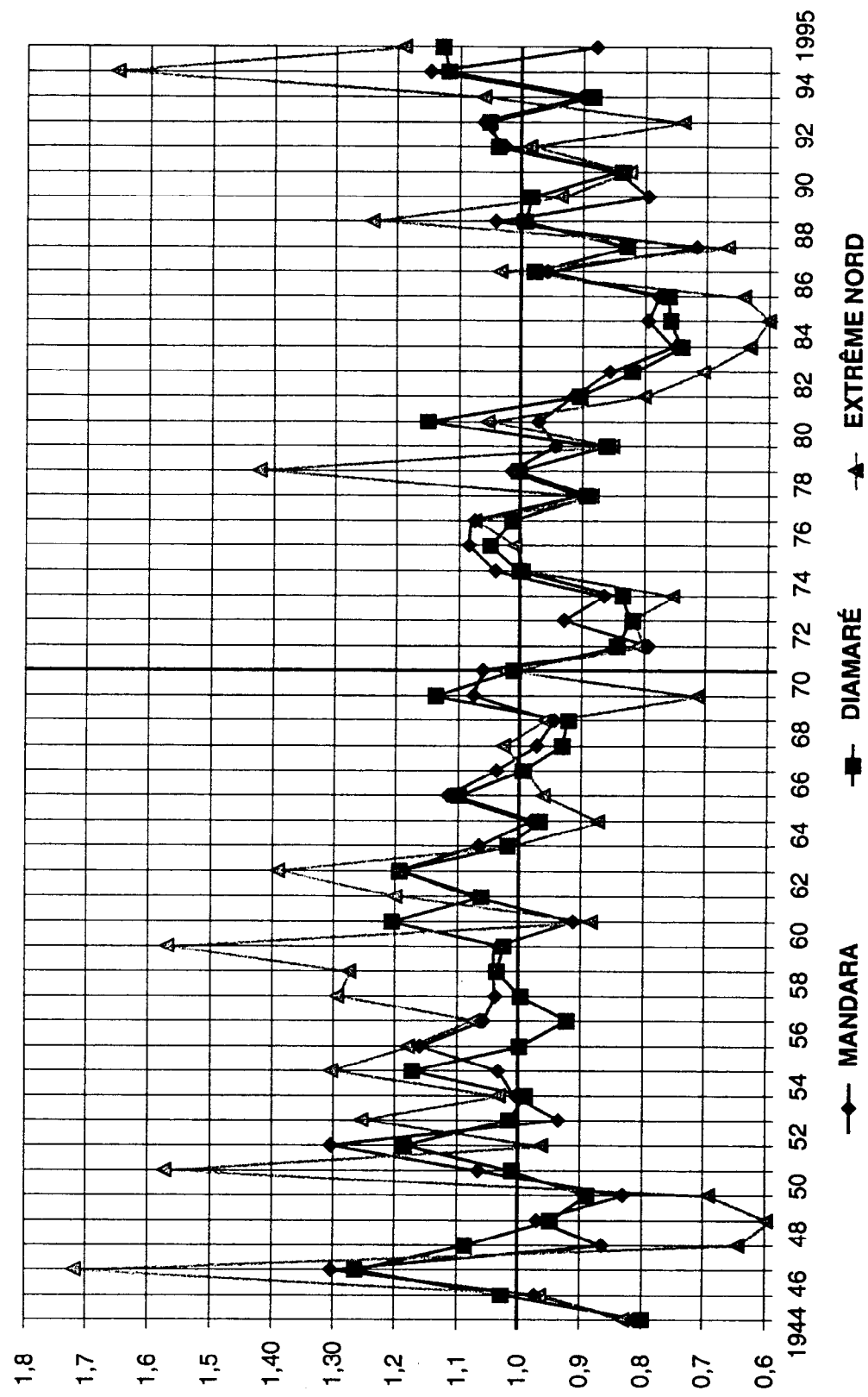


ALTITUDES

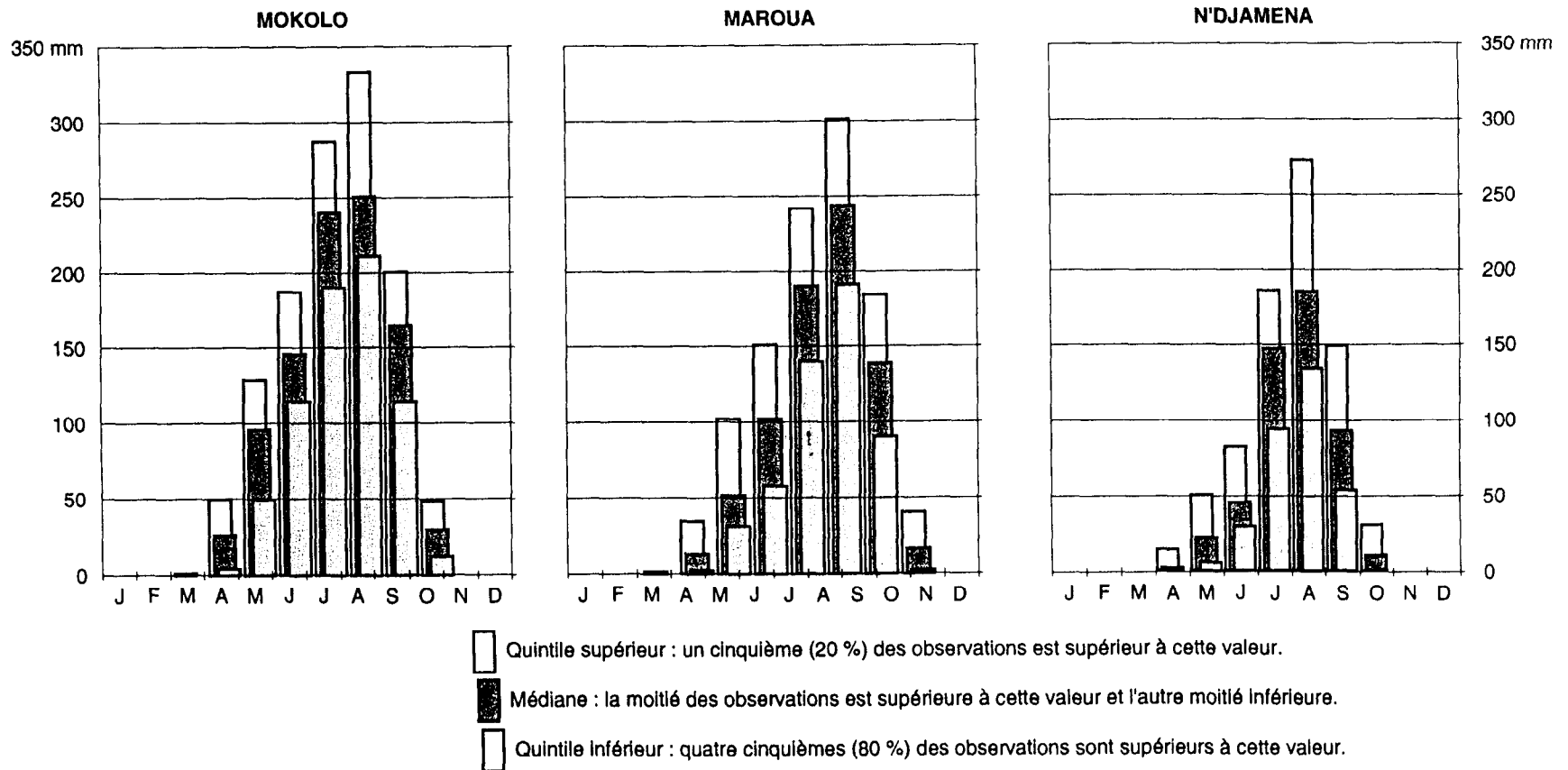


Diamaré	Région climatique
• Mokolo	Station de référence

Carton 4 - Vecteurs pluviométriques annuels régionaux (période 1944-1995)

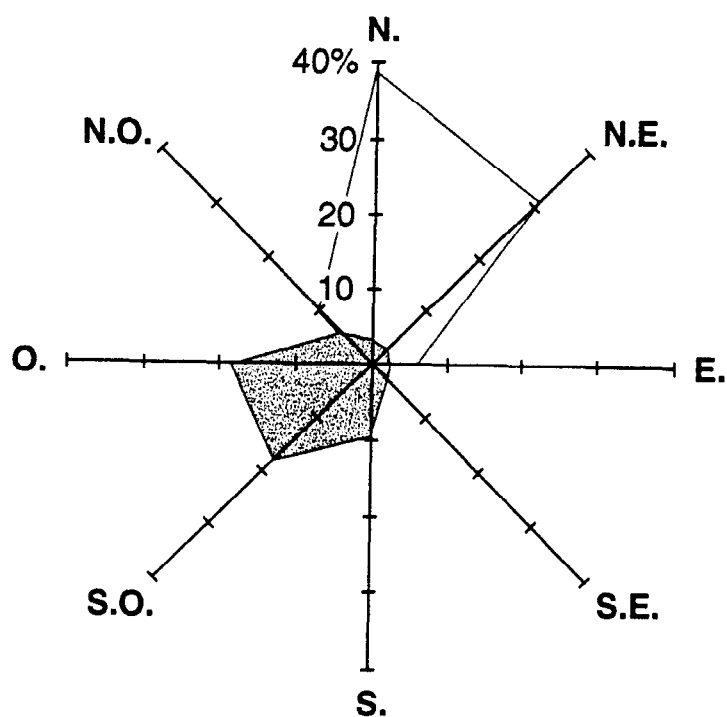


Carton 5 - Précipitations mensuelles (période 1944-1995)



N.B. au sujet du carton 5 : à MOKOLO et MAROUA, les "barres" des histogrammes sont légèrement décalées vers la droite par rapport à l'original ; les mois où il y a des pluies figurées vont de mars à octobre compris, avec des maximums en août ; les mois de janvier, février, novembre et décembre sont vides à ces deux stations. Ce défaut de dessin sera corrigé sur la sortie définitive de l'Atlas.

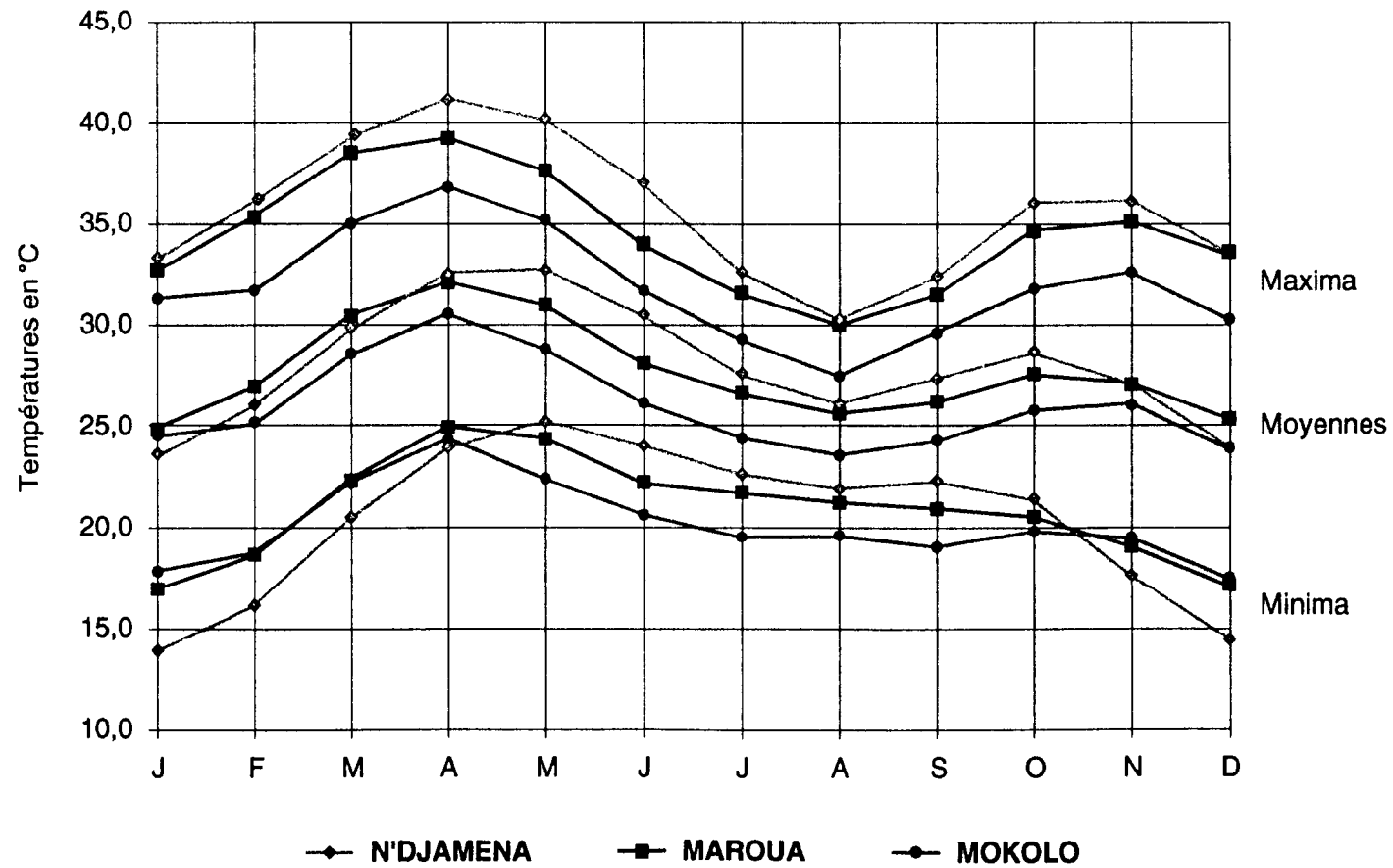
**Carton 6 - Rose des vents en janvier et août à Maroua-Salak:
pourcentages des directions moyennes observées
(période 1961-1970)**



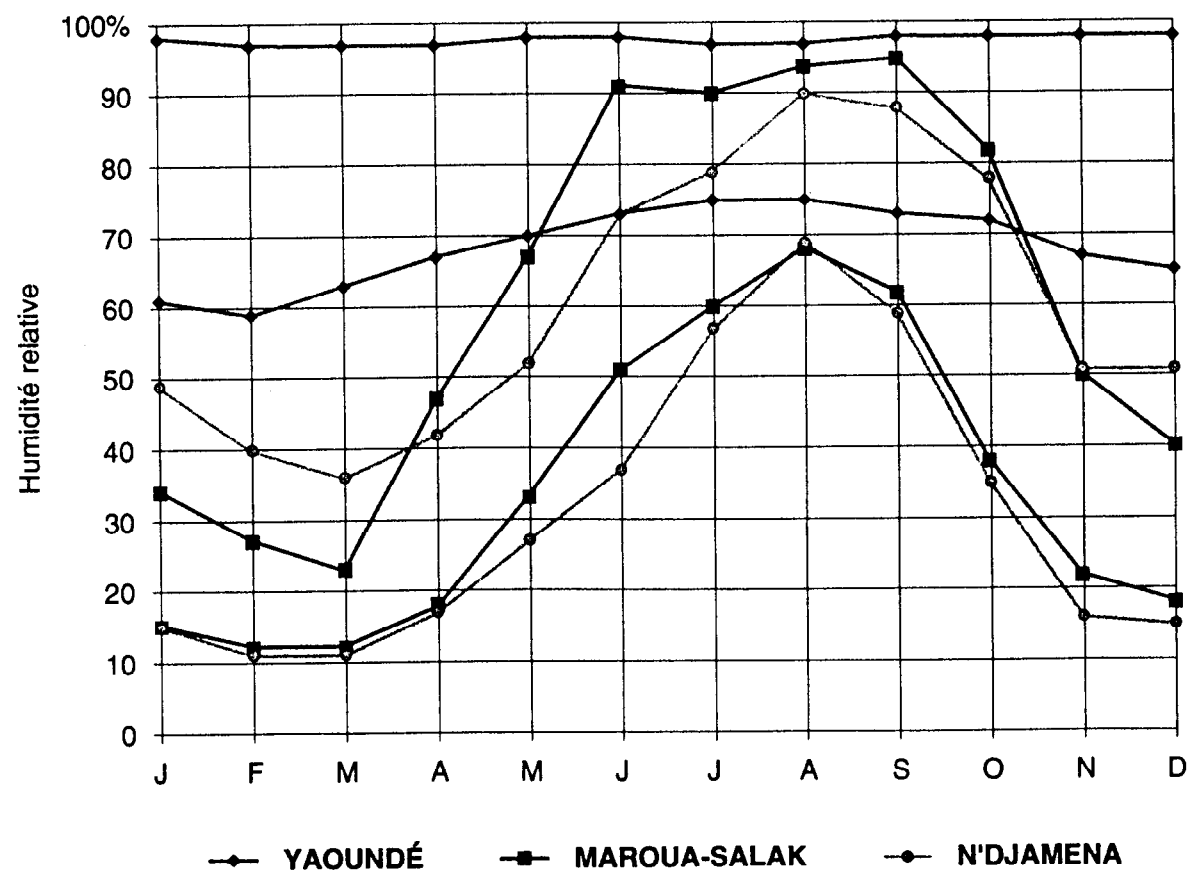
Janvier

Août

Carton 7 - Températures moyennes mensuelles maximales, moyennes et minimales
 (données J.C. Olivry, 1986 et J.B. Suchel, 1988)



**Carton 8 - Moyennes mensuelles des humidités relatives maximales et minimales
(données J.C. Ollvry, 1986 et 1996)**



Carton 9 - Indice de rendement agricole espéré, période 1968-1985 (données Agrhymet)

